

**Semiconductor component used as a diode comprises a charge carrier transition region for transferring and controlling a charge carrier between a first electrode region and a second electrode region**

**Publication number:** DE10324752

**Publication date:** 2005-01-05

**Inventor:** HIRLER FRANZ (DE)

**Applicant:** INFINEON TECHNOLOGIES AG (DE)

**Classification:**

**- international:** *H01L29/12; H01L29/775; H01L51/30; H01L29/06; H01L29/423; H01L29/78; H01L29/02; H01L29/66; H01L51/05; H01L29/40; (IPC1-7): H01L29/15; B82B1/00; H01L29/16; H01L29/73; H01L29/74; H01L29/76*

**- european:** *H01L51/05B2B; H01L29/12W2; H01L29/775; H01L51/00M4D; Y01N4/00*

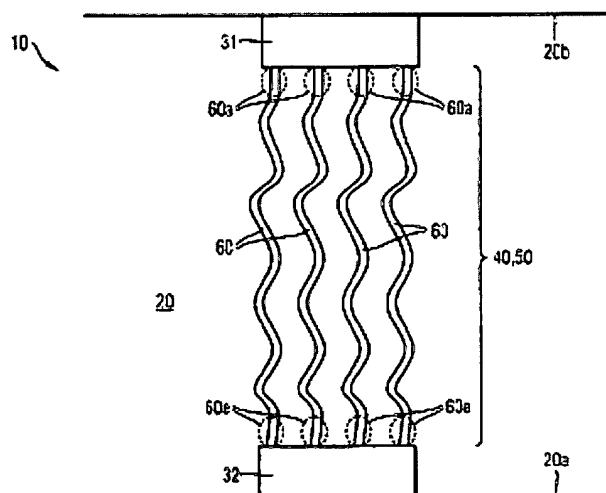
**Application number:** DE20031024752 20030530

**Priority number(s):** DE20031024752 20030530

**Report a data error here**

**Abstract of DE10324752**

Semiconductor component comprises a charge carrier transition region (40) for transferring and controlling a charge carrier (Q) between a first electrode region (31) and a second electrode region (32). The charge carrier transition region has a quantum wire element region (50) with a number of quantum wire elements (60) arranged in parallel.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 24 752 A1** 2005.01.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 24 752.1**  
(22) Anmeldetag: **30.05.2003**  
(43) Offenlegungstag: **05.01.2005**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H01L 29/15**  
**B82B 1/00, H01L 29/16, H01L 29/73,**  
**H01L 29/74, H01L 29/76**

(71) Anmelder:  
**Infineon Technologies AG, 81669 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Hirler, Franz, Dr., 84424 Isen, DE**

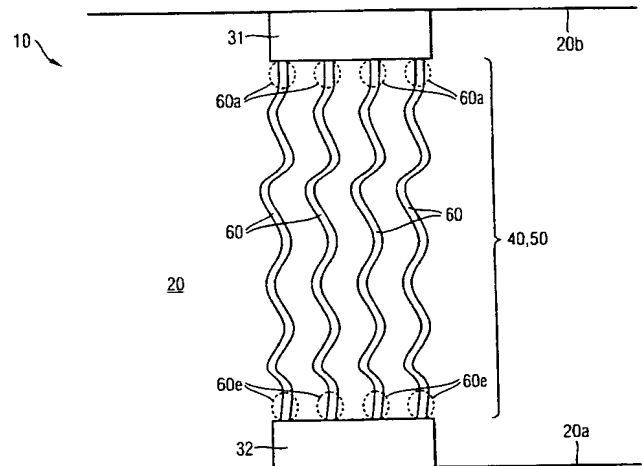
(74) Vertreter:  
**Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667 München**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Halbleiterbauelement**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Halbleiterbauelement (10) mit einem ersten Elektrodenbereich (31), einem zweiten Elektrodenbereich (32) und einem Ladungsträgerübertragungsbereich (40), durch welchen Ladungsträger (Q) zwischen dem ersten Elektrodenbereich (31) und dem zweiten Elektrodenbereich (32) steuerbar und/oder schaltbar übertragbar sind, vorgeschlagen. Der Ladungsträgerübertragungsbereich (40) weist einen Quantendrahtelementbereich (50) auf oder wird von einem solchen gebildet, wobei der Quantendrahtelementbereich (50) eine Mehrzahl zueinander elektrisch parallel geschalteter Quantendrahtelemente (60) oder Quantendrähte (60) aufweist oder von einer solchen gebildet wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement.

**[0002]** Bei der Fortentwicklung bestehender Halbleiterbauelemente sind die Aspekte der Miniaturisierung, das heißt der Steigerung der Integrationsdichte, der Reduzierung der Verlustleistungen und des Ermöglichens höherer Strom- und daher Leistungsdichten sehr wesentlich.

**[0003]** Bei herkömmlichen und somit auf Silicium fußenden Halbleiterbauelementen wurden entsprechende Dotierungskonzepte entwickelt, durch welche die oben beschriebenen Parameter der Halbleiterbauelemente in bestimmten Bereichen modifiziert und angepasst werden können. Nachteilig ist dabei jedoch, dass sich teilweise widersprechende Anforderungen in einem Bauelementekonzept miteinander vereinbart werden müssen, so dass über bestimmte Grenzbereiche hinaus nicht gleichzeitig eine Leistungssteigerung, eine weitestgehende Hochintegration und die Optimierung weiterer Bauelementeparameter möglich ist.

**Aufgabenstellung**

**[0004]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Halbleiterbauelement anzugeben, bei welchem auf besonders platzsparende Art und Weise eine besonders hohe Stromdichte ermöglicht werden kann.

**[0005]** Die Aufgabe wird bei einem Halbleiterbauelement erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements sind Gegenstand der abhängigen Unteransprüche.

**[0006]** Das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement weist einen ersten Elektrodenbereich, einen zweiten Elektrodenbereich und einen Ladungsträgerübertragungsbereich auf, wobei letzterer dazu ausgebildet ist, Ladungsträger zwischen dem ersten Elektrodenbereich und dem zweiten Elektrodenbereich steuerbar und/oder schaltbar zu übertragen. Der Ladungsträgerübertragungsbereich zur Ladungsträgerübertragung weist einen Quantendrahtelementbereich auf oder wird von einem solchen gebildet, wobei der Quantendrahtelementbereich eine Mehrzahl zueinander elektrisch parallel geschalteter Quantendrahtelemente oder Quantendrähte aufweist oder von einer solchen Mehrzahl Quantendrahtelemente oder Quantendrähte gebildet wird.

**[0007]** Es ist somit eine Kernidee der vorliegenden Erfindung, den Ladungsträgerübertragungsbereich mit einem Quantendrahtelementbereich einer Mehrzahl elektrisch parallel geschalteter Quantendrahte-

lemente oder Quantendrähte auszubilden.

**[0008]** Zum einen sind Quantendrähte im Hinblick auf ihren elektrischen Widerstand quantisierte Strukturen. Das heißt, ihr elektrischer Widerstand ist – zumindest in weiten Bereichen und/oder in einer oder in zwei gegebenen Quantisierungsrichtungen – konstant. Andererseits wird durch das parallele Vorsehen oder Parallelschalten einer Mehrzahl von Quantendrähten der Quantendrahtelemente eine besonders hohe Stromdichte möglich. Durch die Konstanz des quantisierten elektrischen Widerstands jedes einzelnen Quantendrahts oder Quantendrahtelementes ist auch der flächenspezifische Einschaltwiderstand  $R_{on} \cdot A$  von der angelegten Spannung und vom fließenden Strom im Wesentlichen unabhängig und somit konstant, so dass sich allein durch die materielle und/oder geometrische Ausgestaltung der einzelnen Quantendrähte der flächenspezifische Einschaltwiderstand modulieren lässt. Durch das Vorsehen einer Mehrzahl elektrisch parallel geschalteter Quantendrähte oder Quantendrahtelemente kann entsprechend die Stromlast definiert werden.

**[0009]** Im Sinne der Erfindung werden auch Strukturen als Quantendrähte bezeichnet, bei denen die Ladungsträgerbewegung in zwei Raumrichtungen quantisiert ist, während in der dritten Raumrichtung eine freie Ladungsträgerbewegung möglich ist.

**[0010]** Im Sinne der Erfindung werden auch Strukturen als Quantendrähte bezeichnet, in denen in nur einer Raumrichtung eine Quantisierung der Ladungsträgerbewegung vorliegt, während in den anderen beiden Raumrichtungen eine freie Ladungsträgerbewegung möglich ist.

**[0011]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements sind eindimensionale Quantendrähte als Quantendrahtelemente vorgesehen. Bei diesen ist insbesondere die Bewegung der Ladungsträger in zwei Dimensionen quantisiert. Ferner sind in den quantisierten Richtungen nur Elektronengrundzustände oder Lochgrundzustände besetzt, und zwar von maximal zwei Ladungsträgern mit unterschiedlichem Spin. In der dritten Dimension ist die Zustandsdichte divergierend ausgebildet. Insbesondere ist ferner nur ein Niveau besetzt.

**[0012]** Bei einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements sind quasi-eindimensionale Quantendrähte als Quantendrahtelemente oder Quantendrähte vorgesehen. Bei diesen sind insbesondere nur wenige Elektronenzustände oder Lochzustände besetzt, insbesondere im Bereich von etwa zwei bis etwa zwanzig. Es sind insbesondere mehrere Niveaus besetzt.

**[0013]** Die Realisierung der einzelnen Quanten-

drahtelemente oder Quantendrähte kann auf mannigfache Art und Weise erfolgen:

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist es vorgesehen, dass als Quantendrahtelemente oder als Quantendrähte Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind. Diese werden alternativ auch als Nanoröhre, Nanoröhren, Nanoröhrchen oder Nanoröhrelemente bezeichnet.

**[0014]** Dabei kann es von Vorteil sein, dass einwandige Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind. Alternativ oder zusätzlich dazu sind auch mehrwandige Nanotubes oder Nanotubeelemente denkbar.

**[0015]** Es bieten sich insbesondere so genannte Kohlenstoffnanotubes oder CNTs an.

**[0016]** Alternativ oder zusätzlich sind auch elektrisch leitfähige Nanotubes oder Nanotubeelemente, insbesondere in metallischer Form denkbar.

**[0017]** Als weitere Alternative oder zusätzlich können auch halbleitende Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sein, insbesondere dann, wenn sie eine Bandlücke im Bereich von etwa 1 eV aufweisen.

**[0018]** Die Quantendrähte oder Quantendrahtelemente und insbesondere die Nanotubes oder Nanotubeelemente können n-dotiert und/oder p-dotiert ausgebildet sein.

**[0019]** Alternativ oder zusätzlich können die Quantendrähte oder Quantendrahtelemente bzw. die Nanotubes oder Nanotubeelemente auch mindestens einen pn-Übergang aufweisen.

**[0020]** Anstelle der Kohlenstoffnanotubes sind auch Quantendrähte oder Quantendrahtelemente aus halbleitenden Makromolekülen denkbar.

**[0021]** Als weiteren Zusatz oder als weitere Alternative bieten sich auch Quantendrähte oder Quantendrahtelemente aus kristallinem Trägermaterial oder Halbleitermaterial an, insbesondere aus porösem Silicium.

**[0022]** Anstelle explizit ausgebildeter Quantendrähte oder Quantendrahtelemente als separate Strukturen, insbesondere im Sinne eines gewachsenen Quantendrahts oder Quantendrahtelements, bieten sich auch Quantendrähte oder Quantendrahtelemente in Form so genannte Heterostrukturen in einem Materialbereich an.

**[0023]** Insbesondere ist daran gedacht, dass als Quantendrähte oder Quantendrahtelemente Heterostrukturen in einem kristallinen Trägermaterial-

oder Halbleitermaterialbereich vorgesehen sind, insbesondere in einem der Systeme Si/SiGe, GaAs/AlGaAs, InGaAsP und/oder GaN.

**[0024]** Auch bei der Ausbildung der jeweiligen Heterostruktur bieten sich verschiedene Möglichkeiten an. Zum Beispiel ist es vorgesehen, dass die Heterostruktur erzeugt ist oder wird durch Variation der Energielücke, der Valenzbandkante und/oder der Leitungsbandkante des die jeweilige Heterostruktur bildenden Materialbereichs.

**[0025]** Gemäß einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist es vorgesehen, eine Kühlung derart auszubilden, dass die thermische Energie relativ zu energetischen Abständen von 1d-Bändern absenkbar ist oder abgesenkt ist, und zwar des jeweiligen Quantendrahts.

**[0026]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform ist es vorgesehen, dass Dotierstoffe derart vorgesehen sind, dass diese im Betrieb derart im Wesentlichen außerhalb der Wellenfunktion der Ladungsträger vorliegen, dass die Ladungsträgerbeweglichkeit nicht durch Streuung der Ladungsträger am Dotierstoff abgesenkt ist oder wird. Dies geschieht insbesondere durch eine HENT-Struktur.

**[0027]** Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist es vorgesehen, dass zweidimensionale Elektronen-/Lochsysteme parallel geschaltet ausgebildet und vorgesehen werden, bei welchen die Bewegung der Ladungsträger in nur einer Richtung quantisiert ausgebildet ist.

**[0028]** Das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement kann verschiedene bekannte Halbleiterbaugruppen realisieren:

Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement als Diode ausgebildet, insbesondere mit dem ersten Elektrodenbereich als Anodenbereich oder als Kathodenbereich, dem Ladungsträgerübertragungsbereich als Driftbereich für die Ladungsträger und/oder dem zweiten Elektrodenbereich als Kathodenbereich bzw. als Anodenbereich.

**[0029]** Bei einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist dieses als Transistor ausgebildet, insbesondere als MOS- oder DMOS-Transistor und/oder als Leistungstransistor. Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass der erste Elektrodenbereich einen ersten Source-/Drainbereich bildet, dass der Ladungsträgerübertragungsbereich den Kanalbereich für die Ladungsträger bildet und/oder dass der zweite Elektrodenbereich einen zweiten Source-/Drainbereich des Transistors bildet.

**[0030]** Vorteilhafterweise ist das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement als Feldeffekttransistor ausgebildet.

**[0031]** Gemäß einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist dieses als Drei-Schicht-Bauelement, insbesondere als Bipolartransistor ausgebildet.

**[0032]** Gemäß einer anderen Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement als Vier-Schicht-Bauelement, insbesondere als Thyristor ausgebildet.

**[0033]** Ferner kann es vorgesehen sein, dass die Länge und/oder die Breite der Nanotubeanordnung oder der Quantendrahtelementebereich größer sind als die Erstreckung der Quantendrahtelemente oder Nanotubes.

**[0034]** Alternativ oder zusätzlich ist es vorgesehen, dass die Nanotubeanordnung oder der Quantendrahtelementebereich ausgebildet sind, einen elektrischen Strom von mehr als 1 A zu tragen.

**[0035]** Diese und weitere Aspekte werden auch an Hand der nachstehen Bemerkungen verdeutlicht: Bei der Entwicklung neuer Generationen von MOS- oder DMOS-Leistungstransistoren ist ein wichtiges Ziel die Verringerung des spezifischen Einschaltwiderstandes  $R_{on,A}$ . Damit kann einerseits die statische Verlustleistung minimiert werden, andererseits lassen sich höhere Stromdichten erreichen.

**[0036]** Dazu werden für siliziumbasierten Leistungshalbleiter neue Konzepte entwickelt wie das Kompensationsprinzips zur Erhöhung der Driftstreckendotierung. Die Kompensation kann einerseits durch Verwendung des Feldplattenprinzips oder durch in die Driftstrecke eingebaute p-Gebiete erfolgen. Alternativ können Leistungshalbleiter in anderen Materialsystemen, wie Siliziumcarbid, realisiert werden.

**[0037]** Eine neue Klasse von Materialien stellen ein- oder mehrwandige Kohlenstoffnanoröhrchen, Carbon Nano Tubes oder CNT, dar, die auf geeigneten Katalysatoren, z. B. auf strukturierten Eisengebietten selektiv gewachsen werden können. Diese CNTs können metallisch oder halbleitend sein, mit einer Bandlücke von etwa 1 eV. Ihr Widerstand ist quantisiert, wobei bei zweifacher Besetzung des Grundzustandes mit unterschiedlichem Spin der Widerstand  $h/2e^2$ , also 12,906 k $\Omega$  ist. Es lassen sich Stromdichten von 10<sup>9</sup> A/cm<sup>2</sup> erreichen, das ist das 1000-fache der maximalen Stromdichte von Kupfer. Die CNTs können n- und p-dotiert sein bzw mit pn-Übergängen versehen werden. Auch können Feldeffekttransistoren realisiert werden.

**[0038]** Vorgeschlagen werden insbesondere Struk-

turen, die es erlauben, CNTs für Leistungstransistoren einzusetzen, die etwa 10 V bis mehrere kV sperren sollen. Bisher werden nur einige Volt erreicht. Dazu werden Strukturen mit diversen Vorrichtungen vorgeschlagen, die durch Ausräumung eines Teiles des CNT das Aufnehmen einer Spannung erlauben.

**[0039]** Allgemeiner wird vorgeschlagen, Leistungsbaulemente aus eindimensionalen Quantendrähten mit einer Bewegung in zwei Dimensionen quantisiert, in den quantisierten Richtungen nur Elektronen- oder Loch-Grundzustand besetzt von maximal zwei Ladungsträgern unterschiedlichen Spins, in der dritten Dimension divergiert die Zustandsdichte, oder quasi-eindimensionalen Quantendrähten (nur wenige Elektronen- oder Loch-Zustände besetzt) aufzubauen. Wegen des hohen Widerstandes eines einzelnen Quantendrahtes müssen etwa 10<sup>3</sup> bis  $\gg 10^8$  solcher Quantendrähte parallel geschaltet werden. Dies ist in Gegensatz zu heutige Ansätzen, wo versucht wird, möglichst kleine Ströme zu Schalten oder zu Speichern, um die Verlustleistung in einem Logigchip oder Speicher zu minimieren.

**[0040]** Der große Vorteil von Quantendrähten ist, dass der Widerstand unabhängig von der Drahtlänge und somit der maximalen Durchbruchspannung ist, solange Streuung vernachlässigt werden kann. Das heißt, dass Schalter oder Dioden für Spannungen < 1000 V prinzipiell den gleichen Widerstand wie entsprechende Bauelemente für einige Volt haben können.

**[0041]** Leistungstransistoren mit Quanteneffekte sind zunächst ein Widerspruch in sich, da in Quantensystemem nur wenige Elektronen oder Löcher kleinste Ströme tragen.

**[0042]** Es wird daher insbesondere vorgeschlagen, eine sehr grosse Anzahl von Quantendrähten parallel zu schalten, und es werden Strukturen zur Realisierung dargestellt.

**[0043]** Im Folgenden werden einige mögliche Anwendungen dargestellt:

Dioden:

**[0044]** Die einzelnen Quantendrähte verfügen über ein p-Gebiet an der einen Seite des Quantendrahtes und ein n-Gebiet an der anderen. An den Enden oder Endbereichen sind Elektroden, also Anode und Kathode) vorgesehen.

FET (siehe auch Fig. 2):

**[0045]** Die Quantendrähte sind vollständig n- oder p-dotiert mit Source- und Drainelektroden an den Enden. Zur Steuerung der Leitfähigkeit sind Gateelektroden vorgesehen, die nahe dem Sourcebereich in

der Dimension der freien Bewegung der Ladungsträger das Potential beeinflussen und so freie Bewegung unterbinden. Dadurch können die Quantendrähte von einem gut leitenden in einen schlecht oder nicht leitenden Zustand versetzt werden. Die Gateelektroden sind beabstandet von den Ladungsträgerwellenfunktionen in den einzelnen Quantendrähten. Dabei können sie in Kontakt mit dem halbleitenden Material sein, von diesem beabstandet oder durch eine Isolierschicht getrennt.

FET (siehe auch **Fig. 3**):

**[0046]** Die Quantendrähte sind n (oder p) dotiert mit Source- und Drainelektroden an beiden Enden. Zwischen den Endbereichen (nahe dem Sourcebereich) gibt es ein (p oder n) dotiertes Kanal-Gebiet, entlang dessen zur Steuerung der Leitfähigkeit Gateelektroden vorgesehen sind, die in der Dimension der freien Bewegung der Ladungsträger das Potential beeinflussen und so freie Bewegung unterbinden. Dadurch können die Quantendrähte von einem gut leitenden in einen schlecht oder nicht leitenden Zustand versetzt werden. Die Gateelektroden sind beabstandet von den Ladungsträgerwellenfunktionen in den einzelnen Quantendrähten. Dabei können sie in Kontakt mit dem halbleitenden Material sein, von diesem beabstandet oder durch eine Isolierschicht getrennt. Hier kann es vorteilhaft sein, das Kanalgebiet (z.B. durch innenliegende CNT-Röhren) mit dem Sourcegebiet zu verbinden, um das Einschalten des parasitären Bipolartransistors zu verhindern.

Hohe Spannungen:

**[0047]** Um die Quantendrähte vorteilhaft für Spannungen > 10V einsetzen zu können, wird eine asymmetrische Anordnung vorgeschlagen. Die Driftstrecke, welche den größten Teil der anliegenden Spannung aufnimmt, ist länger. Bei FETs ist das das drainseitige, nicht von der Gateelektrode überdeckte Gebiet, bei Dioden das n- oder das p-Gebiet) als Sourcegebiet bei FETs oder das 2. Gebiet bei Dioden

Bipolare Techniken:

**[0048]** Bei einem Dreischichter gemäß npn oder pnp kann die Steuerung über eine Steuerelektrode erfolgen, die durch leitenden Kontakt die mittlere p- oder n-Schicht beeinflusst.

4-Schichter:

**[0049]** Häufig ist in Quantendrähten sowohl die Elektronen- als auch die Löcherbewegung quantisiert, und Elektronen- und Löcherwellenfunktion wechselwirken oder sind zumindest räumlich benachbart. In diesem Falle wird eine 4-Schicht-Struktur mit der Folge pnpn vorgeschlagen, die durch Injektion ein Elektron-Loch-Plasma ausbilden kann.

Die Steuerung kann zusätzlich über eine Gateelektrode oder eine Steuerelektrode, die durch leitenden Kontakt die mittlere n oder p-Schicht beeinflusst, erfolgen.

Superjunction MOS:

**[0050]** Bei FETs und Dioden können zur Erhöhung der Sperrfähigkeit oder Verringerung der Quantendrahtlänge und damit Verringerung der Streuwahrscheinlichkeit kompensierende Quantendrähte vorgesehen sein. Diese sind vom Leitungstyp dem der Driftzone der stromleitenden Quantendrähte entgegengesetzt und vorzugsweise mit Sourcepotenzial verbunden. Sie sind einzeln oder in Bündeln neben einzelnen oder Bündeln von stromleitenden Quantendrähten angeordnet. Ferner können sie aus einem anderen Halbleiter bestehen und müssen keine Quantendrahteigenschaften aufweisen. Bei mehrwandigen Nanotubes oder Quantendrähten können p-dotierte und n-dotierte Nanotubes oder Quantendrähte auch ineinander geschachtelt vorliegen.

Feldplatten:

**[0051]** Zwischen den stromleitenden Quantendrähten können Elektroden zum Ausräumen der Ladung in den Driftzonen der stromleitenden Quantendrähte vorgesehen sein. Diese sind vorzugsweise mit dem Sourcepotenzial beaufschlagt, in nichtleitendem Kontakt mit den stromleitenden Quantendrähten, von diesen beabstandet oder durch einen Isolator von diesen getrennt. Die Elektroden können aus Quantendrähten, Halbleitern oder Leitern gebildet sein.

Ausführungsbeispiel bzw. Herstellungsverfahren für einen FET:

**[0052]** In einem Substrat werden Gräben hergestellt, die später die Quantendrähte aufnehmen. Gegebenenfalls werden am Boden von Gräben die Source oder Drainelektroden aufgebracht, die in Kontakt mit dem leitenden Substrat sind, oder das Substrat dient als Elektrode. An den Wänden der Gräben wird ein Isolator aufgebracht, oder die Wände bestehen aus einem Isolator. Das Substrat besteht dabei aus zwei Schichten, einer leitenden und einer isolierenden, wobei die isolierende Schicht in ihrer ganzen Dicke von den Gräben durchtrennt wird. Auf oder in den Mesabereichen werden Gateelektroden eingebracht, die dann benachbart zu den Quantendrähten angeordnet sind. Es werden ein oder mehrere Quantendrähte pro Graben eingebracht, und schließlich werden die Source- oder Drainelektroden aufgebracht.

Ausführungsbeispiel bzw. Herstellungsverfahren für einen FET:

**[0053]** Auf einem leitfähigen Substrat, das als Sour-

ce oder Drainelektrode dient oder auf dem eine Source oder Drainelektrode abgeschieden ist oder wird, werden Quantendrähte gewachsen oder aufgebracht. Die Zwischenräume zwischen den Quantendrähten werden bis zu einer bestimmten Höhe mit einem Isolator gefüllt. Anschliessend wird eine Gateelektrode bis zu einer zweiten Höhe in die Zwischenräume eingefüllt. Falls notwendig, wird auf die Quantendrähte vorher ein Gateisolator aufgebracht. Schliesslich wird bis zu einer dritten Höhe ein Isolator eingefüllt, und es wird die dritte Elektrode abgeschieden.

**[0054]** Die Quantendrähte können z. B. aus Kohlenstoffnanoröhrchen bestehen. Die Quantendrähte können auch z. B. aus kristallinen Halbleitern bestehen.

**[0055]** Die Quantendrähte können z. B. auch in kristallinen Halbleitern als Heterostrukturen realisiert sein, z. B. durch Variation von Energielücke, Leitungs- oder Valenzbandkante, z. B. in Systemen wie Si/SiGe, GaAs/AlGaAs, InGaAsP oder GaN.

**[0056]** Es kann eine Kühlung z. B. mit flüssigem Stickstoff oder Helium vorgesehen sein, um die thermische Energie  $kT$  im Vergleich zu den Abständen der 1d-Bänder abzusinken.

#### Remote doping:

**[0057]** Bevorzugt befinden sich Dotierstoffe außerhalb des Ladungsträgerwellenfunktion, so dass die Beweglichkeit nicht durch Streuung der Ladungsträger an Dotierstoffatomen reduziert wird.

**[0058]** Es werden z. B. zwei-dimensionale Elektronen-/Loch-Systeme parallelgeschaltet, bei denen die Bewegung in nur einer Richtung quantisiert ist.

#### Ausführungsbeispiel

**[0059]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer schematischen Zeichnung auf der Grundlage bevorzugter Ausführungsformen näher erläutert.

**[0060]** Fig. 1 ist eine schematische Ansicht einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements.

**[0061]** Fig. 2, 3 sind zwei schematische und teilweise geschnittene Seitenansichten zweier Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements in Form von Feldeffekttransistoren.

**[0062]** Nachfolgend werden ähnliche, vergleichbare oder äquivalente Elemente mit denselben Bezugszeichen bezeichnet, eine diesbezügliche Detailbeschreibung wird nicht in jedem Fall des Auftretens dieser Bezugszeichen wiederholt.

**[0063]** Fig. 1 zeigt in Form eines schematischen Blockdiagramms eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements 10.

**[0064]** In einem Trägermaterialbereich 20, z.B. einem Halbleitermaterialbereich 20, sind in einem oberen Bereich 20a ein erster Elektrodenbereich 31 und in einem unteren Bereich 20b ein zweiter Elektrodenbereich 32 ausgebildet. Zwischen dem ersten Elektrodenbereich 31 und dem zweiten Elektrodenbereich 32 ist erfindungsgemäß ein Ladungsträgerübertragungsbereich 40 ausgebildet, durch welchen der erste Elektrodenbereich 31 und der zweite Elektrodenbereich 32 steuerbar oder schaltbar elektrisch miteinander verbindbar sind, so dass steuerbar oder schaltbar eine Ladungsträgerübertragung zwischen dem ersten Elektrodenbereich 31 und dem zweiten Elektrodenbereich 32 realisierbar ist.

**[0065]** Der Ladungsträgerübertragungsbereich 40 wird in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform von einem Quantendrahtbereich oder Quantendrahtelementebereich 50 gebildet. Dieser Quantendrahtbereich 50 oder Quantendrahtelementebereich 50 weist eine Mehrzahl Quantendrähte oder Quantendrahtelemente 60 auf. Diese besitzen ein erstes Ende 60a, welches mit der ersten Elektrodeneinrichtung 31 verbunden ist. Die Quantendrahtelemente 60 besitzen darüber hinaus ein zweites Ende 60e, welches mit dem zweiten Elektrodenbereich 32 verbunden ist. Durch diese Anordnung ergibt sich, dass die Mehrzahl Quantendrähte 60 oder Quantendrahtelemente 60 der Quantendrahtanordnung oder Quantendrahtelementeanordnung 50 elektrisch zueinander parallel geschaltet sind und somit elektrisch parallel geschaltet den ersten Elektrodenbereich 31 mit dem zweiten Elektrodenbereich 32 verbinden.

**[0066]** Wie in den Fig. 2 und 3 sind in schematischer und geschnittener Seitenansicht Anwendungsbeispiele des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements 10 aus Fig. 1 dargestellt, wobei diese Feldeffekttransistoren T betreffen. Bei beiden Ausführungsformen bildet der erste Elektrodenbereich 31 einen ersten Source-/Drainbereich SD1, insbesondere einen Sourcebereich des Transistors T. Der zweite Elektrodenbereich 32 bildet einen zweiten Source-/Drainbereich SD2, insbesondere einen Drainbereich des Transistors T. Der Ladungsträgerübertragungsbereich 40 ist in einem Isolationsbereich 80 des Trägermaterialbereichs 20 eingebettet. Der Ladungsträgerübertragungsbereich 40 verbindet den ersten Source-/Drainbereich SD1 als ersten Elektrodenbereich 31 mit dem zweiten Source-/Drainbereich SD2 als zweiten Elektrodenbereich 32 über eine Mehrzahl Quantendrähte 60 oder Quantendrahtelemente 60 in elektrisch parallel geschalteter Art und Weise. Zur Steuerung der Mehrzahl Quantendrähte 60 oder Quantendrahtelemente 60, welche in ihrer Mehrzahl den Quantendrahtbereich 50 oder Quan-



tendrahtelementebereich **50** des Ladungsträgerübertragungsbereichs **40** bilden, werden über entsprechend vorgesehene Gatebereiche **G** elektrisch schaltbar oder steuerbar.

[0067] Die Ausführungsformen der **Fig. 2** und **3** unterscheiden sich hinsichtlich der Anordnung der einzelnen Quantendrähte **60** oder Quantendrahtelemente **60** zueinander, sowie hinsichtlich der Ausgestaltung und Aufteilung der Gatebereiche **G**. Darüber hinaus sind auch die zweiten Source-/Drainbereiche **SD2** als zweite Elektrodenbereiche **32** unterschiedlich gestaltet.

[0068] Bei der Ausführungsform der **Fig. 2** sind die einzelnen Quantendrähte **60** oder Quantendrahtelemente **60** des Quantendrahtelementebereichs **50** oder Quantendrahtbereichs **50** in bündelartigen Gruppen **60-1** bis **60-5** zusammengefasst. Die Bündel **60-1** bis **60-5** sind durch entsprechende Mesabereiche **M1** bis **M4**, welche Teile des Isolationsbereichs **80** sind, räumlich voneinander getrennt und elektrisch voneinander isoliert angeordnet. Eingebettet in die Mesabereiche **M1** bis **M4** sind die jeweiligen Gatebereiche **G**, wobei zwischen den Gatebereichen **G** und den Gruppen **60-1** bis **60-5** Teile des Isolationsbereichs **80** oder eine zusätzliche Isolation als sog. Gateoxid **GOX** vorgesehen sind. Die einzelnen Quantendrähte **60** oder Quantendrahtelemente **60** jeder Gruppe **60-1** bis **60-5** sind ebenfalls lateral voneinander beabstandet und/oder elektrisch voneinander isoliert, und zwar durch das Vorsehen zusätzlicher Isolationen **90**. Die Gruppen **60-1** bis **60-5** sind an ihrem oberen Ende mit einem gemeinsamen und zusammenhängenden ersten Source-/Drainbereich **SD1** als ersten Elektrodenbereich **31** kontaktiert. Dagegen wird der zweite Elektrodenbereich **32** und mit hin der zweite Source-/Drainbereich **SD2** von einer Mehrzahl zweiter Elektroden **32-1** bis **32-5** gebildet, wobei jeder Gruppe **60-1** bis **60-5** eindeutig genau eine der zweiten Elektroden **32-1** bis **32-5** in elektrischem Kontakt stehend zugeordnet ist.

[0069] Bei der Ausführungsform der **Fig. 3** sind gegenüber der Situation aus **Fig. 2** die Gruppen **60-1** bis **60-5** ausgelöst worden, so dass nunmehr der Quantendrahtelementebereich **50** oder Quantendrahtbereich **50** des Ladungsträgerübertragungsbereichs **40** des Transistors **T** nicht mehr von bündelartigen Gruppen **60-1** bis **60-5** einer jeweiligen Mehrzahl Quantendrähte **60** oder Quantendrahtelemente **60** gebildet wird, sondern von einzelnen und durch Mesastrukturen **M** des Isolationsbereichs **80** lateral räumlich voneinander getrennten und elektrisch isolierten einzelnen Quantendrähten **60** oder Quantendrahtelementen **60**.

[0070] Zwischen je zwei direkt benachbarten Quantendrähten **60** oder Quantendrahtelementen **60** ist in der jeweiligen Mesa **M** ein entsprechender Gatebe-

reich **G** vorgesehen und räumlich und elektrisch vom jeweiligen Quantendraht oder Quantendrahtelement **60** durch ein entsprechendes Gateoxid **GOX** räumlich und elektrisch getrennt. Darüber hinaus ist im Gegensatz zur Ausführungsform der **Fig. 2** der zweite Source-/Drainbereich **SD2** als zweiter Elektrodenbereich **32** zusammenhängend ausgebildet, in ähnlicher Form wie der erste Source-/Drainbereich **SD1** als erster Elektrodenbereich **31**.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement
<b>20</b>	Trägermaterialbereich, Halbleitermaterialbereich
<b>20a</b>	oberer Bereich, Oberseite
<b>20b</b>	unterer Bereich, Unterseite
<b>31</b>	erster Elektrodenbereich
<b>32</b>	zweiter Elektrodenbereich
<b>40</b>	Ladungsträgerübertragungsbereich
<b>50</b>	Quantendrahtbereich, Quantendrahtelementebereich
<b>60</b>	Quantendraht, Quantendrahtelement
<b>60a</b>	erstes Ende
<b>60e</b>	zweites Ende
<b>60-1, ..., 60-5</b>	Gruppe, Bündel, Strang von Quantendrahtelementen <b>60</b>
<b>80</b>	Isolationsbereich
<b>90</b>	Isolationsbereich
<b>A</b>	Anodenbereich, Anode
<b>D</b>	Drainbereich, Drain
<b>G</b>	Gatebereich, Gate
<b>GOX</b>	Gateisolationsbereich, Gateoxid
<b>K</b>	Kathodenbereich, Kathode
<b>LD</b>	Driftbereich, Driftstrecke für Ladungsträger
<b>LK</b>	Kanalbereich für Ladungsträger
<b>Q</b>	Ladungsträger
<b>SD1</b>	erster Source-/Drainbereich, Source
<b>SD2</b>	zweiter Source-/Drainbereich, Drain
<b>T</b>	Transistor, Feldeffekttransistor

#### Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement,
  - mit einem ersten Elektrodenbereich (**31**),
  - mit einem zweiten Elektrodenbereich (**32**) und
  - mit einem Ladungsträgerübertragungsbereich (**40**), durch welchen Ladungsträger (**Q**) zwischen dem ersten Elektrodenbereich (**31**) und dem zweiten Elektrodenbereich (**32**) steuerbar und/oder schaltbar übertragbar sind,
  - wobei der Ladungsträgerübertragungsbereich (**40**) zur Ladungsträgerübertragung einen Quantendraht-

elementbereich (50) aufweist oder von einem solchen gebildet wird und  
 – wobei der Quantendrahtelementbereich (50) eine Mehrzahl zueinander elektrisch parallel geschalteter Quantendrahtelemente (60) aufweist oder von einer solchen gebildet wird.

2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
 – dass eindimensionale Quantendrähte als Quantendrahtelemente (60) vorgesehen sind,  
 – bei welchen insbesondere die Bewegung der Ladungsträger (Q) in zwei Dimensionen quantisiert ist, bei welchen in quantisierten Richtungen nur Elektronengrundzustände oder Lochgrundzustände besetzt sind von maximal zwei Ladungsträgern unterschiedlichen Spins und bei welchen in der dritten Dimension die Zustandsdichte divergierend vorgesehen ist.

3. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
 – dass quasi-eindimensionale Quantendrähte als Quantendrahtelemente (60) vorgesehen sind,  
 – bei welchen insbesondere nur wenige Elektronenzustände oder Lochzustände besetzt sind, insbesondere im Bereich von etwa zwei bis etwa zwanzig.

4. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Quantendrahtelemente (60) Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind.

5. Halbleiterbauelement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass einwandige und/oder mehrwandige Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind.

6. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Nanotubes oder Nanotubeelemente Kohlenstoffnanotubes oder CNTs vorgesehen sind.

7. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass metallische und/oder elektrisch leitfähige Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind.

8. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass halbleitende Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind, insbesondere mit einer Bandlücke im Bereich von etwa 1 eV.

9. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass n-dotierte und/oder p-dotierte Nanotubes oder Nanotubeelemente vorgesehen sind.

10. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Nanotubes oder Nanotubeelemente mit einem pn-Übergang vorgesehen sind.

11. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Quantendrähte oder Quantendrahtelemente (60) aus halbleitenden Makromolekülen vorgesehen sind.

12. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Quantendrähte oder Quantendrahtelemente aus kristallinem Trägermaterial oder Halbleitermaterial vorgesehen sind, insbesondere aus porösem Silicium.

13. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Quantendrähte oder Quantendrahtelemente als Heterostrukturen in einem Materialbereich vorgesehen sind.

14. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Quantendrähte oder Quantendrahtelemente als Heterostrukturen in einem kristallinen Halbleitermaterialbereich vorgesehen sind, insbesondere in einem der Systeme Si/SiGe GaAs/AlGaAs, InGaAsP, GaN, ... und/oder in einer Kombination dieser Systeme.

15. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Heterostruktur erzeugt ist durch Variation der Energielücke, der Valenzbandkante und/oder der Leitungsbandkante des die jeweilige Heterostruktur bildenden Materialbereichs.

16. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kühlung derart vorgesehen ist, dass die thermische Energie relativ zu energetischen Abständen von 1d-Bändern des jeweiligen Quantendrahts.

17. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Dotierstoff derart vorgesehen ist, dass dieser im Betrieb derart im Wesentlichen außerhalb der Wellenfunktion der Ladungsträger vorliegt, insbesondere durch eine HENT-Struktur, dass die Ladungsträrgbeweglichkeit nicht durch Streuung der Ladungsträger am Dotierstoff abgesenkt ist.

18. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zweidimensionale Elektronen-/Lochsysteme parallel geschaltet vorgesehen sind, bei welchen die Bewegung der Ladungsträger in nur einer Richtung

quantisiert ausgebildet ist.

19. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche,

- welches als Diode ausgebildet ist,
- insbesondere mit dem ersten Elektrodenbereich (31) als Anodenbereich (A) oder als Kathodenbereich (K), dem Ladungsträgerübertragungsbereich (40) als Driftbereich (LD) für die Ladungsträger (Q) und/oder dem zweiten Elektrodenbereich (32) als Kathodenbereich (K) bzw. als Anodenbereich (A).

20. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche,

- welches als Transistor, insbesondere als MOS- oder DMOS-Transistor und/oder insbesondere als Leistungstransistor ausgebildet ist,
- insbesondere mit dem ersten Elektrodenbereich (31) als ersten Source-/Drainbereich (SD1), dem Ladungsträgerübertragungsbereich (40) als Kanalbereich (LK) für die Ladungsträger (Q) und/oder dem zweiten Elektrodenbereich (32) als zweiten Source-/Drainbereich (SD2).

21. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, welches als Feldeffekttransistoreinrichtung ausgebildet ist.

22. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, welches als Drei-Schicht-Bauelement, insbesondere als Bipolartransistor ausgebildet ist.

23. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, welches als Vier-Schicht-Bauelement, insbesondere als Thyristor ausgebildet ist.

24. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Länge und/oder die Breite der Nanotubeanordnung oder der Quantendrahtelementebereich (50) größer sind als die Erstreckung der Nanotubes (60).

25. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Nanotubeanordnung oder der Quantendrahtelementebereich (50) ausgebildet sind, einen elektrischen Strom von mehr als 1 A zu tragen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

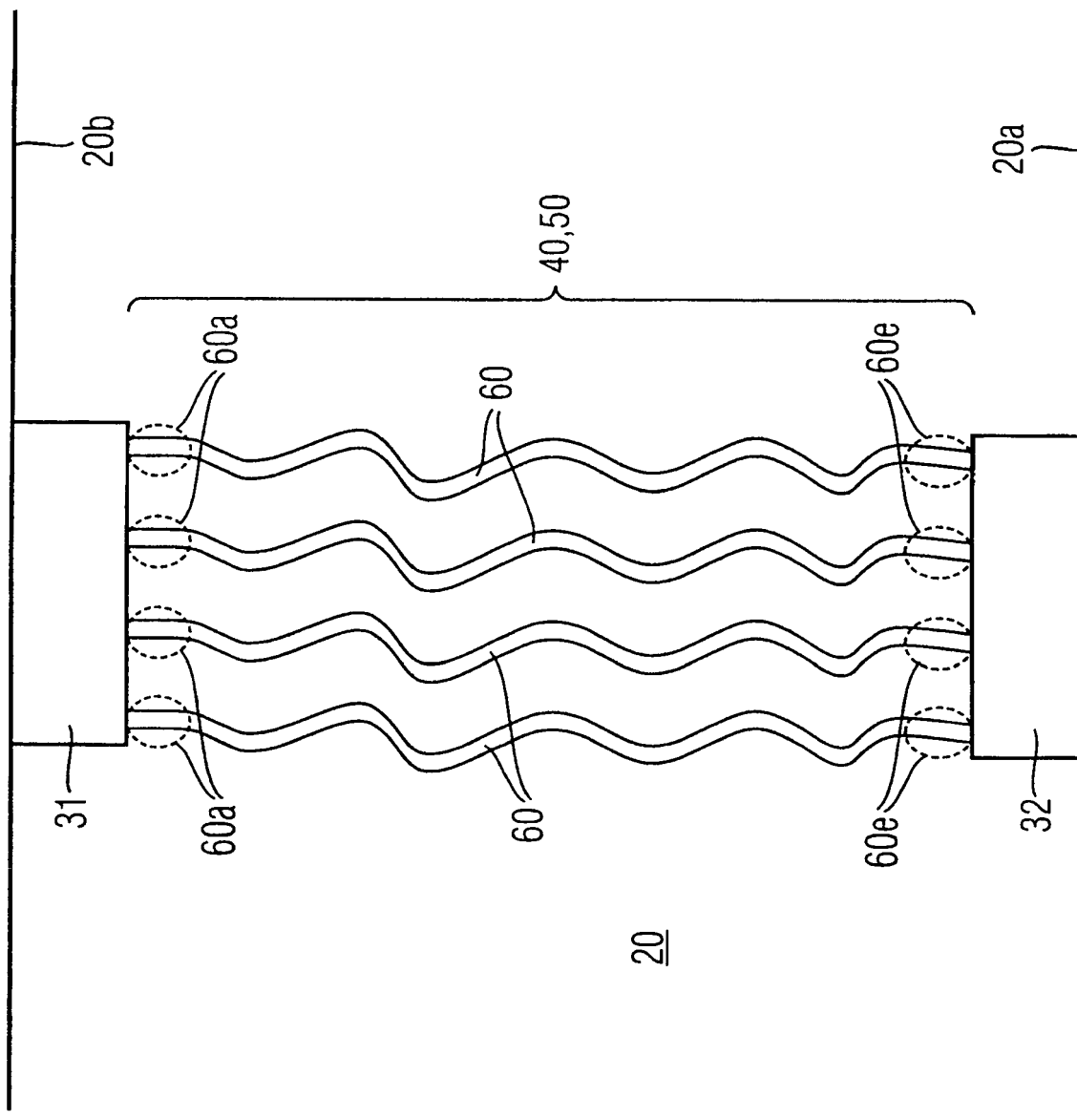


FIG 2

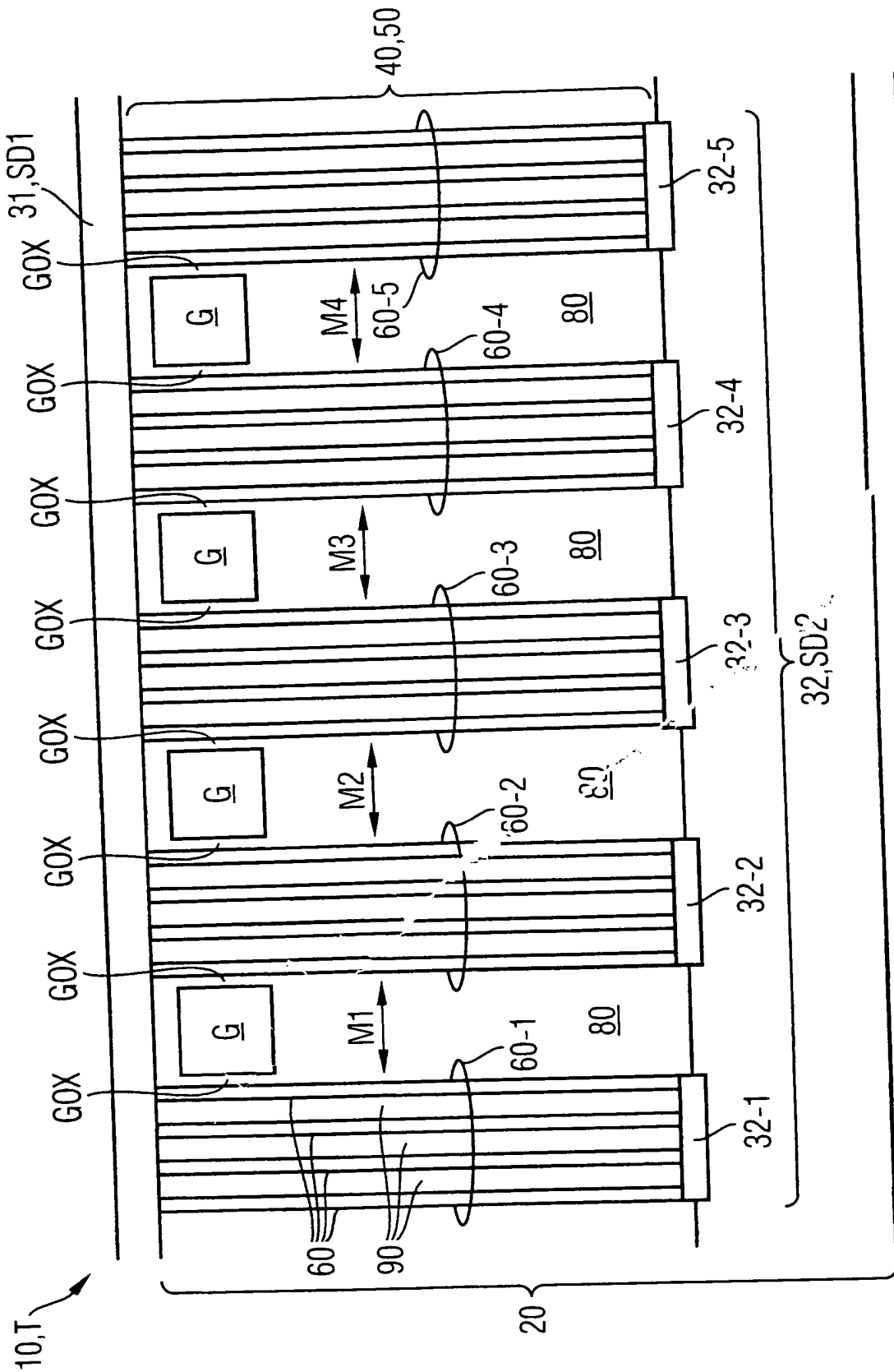


FIG 3,

